

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетических установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Определение эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ

УДК 621.039.543

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Гизбрехт Роман Валентинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ФЭУ ФТИ	Нестеров В.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиозоологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: (специальность): 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра: Физико-энергетических установок

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой

_____ Долматов О.Ю.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Гизбрехт Роман Валентинович

Тема работы:

Определение эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1618/с от 26.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные и конструкторские источники содержащие информацию по реактору БРЕСТ-ОД-300 и методам расчета быстрых реакторов
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> - обзор конструкции быстрых реакторов БРЕСТ-ОД-300 - анализ эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300 с помощью аналитических методов; - определение спектра плотности потока нейтронов; - определение изотопных составов различных топливных загрузок; - определение вклада деления изотопов; - оценка стоимости исследования, оценка экономической и социальной эффективности; - анализ факторов, влияющих на безопасность при проведении исследования.

Перечень графического материала		Компоновка активной зоны реактора БРЕСТ-ОД-300
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.	
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.	
Иностранный язык	Демьяненко Н.В.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Evolution of the technical concept of fast reactors: the concept of BREST		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ФЭУ ФТИ	Нестеров В.Н.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Гизбрехт Роман Валентинович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Гизбрехт Роман Валентинович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный план проекта
5. Бюджет проекта
6. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	К.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Гизбрехт Роман Валентинович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4Г	Гизбрехт Роман Валентинович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	электробезопасность, пожаробезопасность, требования при работе на ПК

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4Г	Гизбрехт Роман Валентинович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя: 118 страниц, 52 рисунка, 33 таблицы, 3 приложения.

Ключевые слова: реактор БРЕСТ-ОД-300, активная зона, топливная загрузка, выгорание топлива.

Объектом исследования является опытно-демонстрационный ядерный реактор БРЕСТ-ОД-300 и его эксплуатационные параметры.

Цель работы – с помощью аналитических методов провести анализ эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300.

В процессе исследования проводились:

- анализ эксплуатационных параметров и конструктивных особенностей реактора БРЕСТ-ОД-300;
- проведение многогруппового расчета для определения плотности потока нейтронов;
- моделирование процессов выгорания и наработки ядерного топлива в реакторе БРЕСТ-ОД-300;
- определение зависимостей эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300 от времени эксплуатации ядерной энергетической установки.

В работе показано, что использование аналитических методов определения эксплуатационных параметров позволяет получить удовлетворительные результаты. Это позволяет производить поисковые научные исследования для нахождения эксплуатационных параметров реактора и их изменение в течение кампании ядерного топлива.

Степень внедрения: удовлетворительная.

Область применения: проведение поисковых научных исследований для определения эксплуатационных параметров на быстрых нейтронах; подготовка бакалавров и магистров по направлению «Ядерные физика и технологии».

Экономическая эффективность/значимость работы: применение аналитических методов определения эксплуатационных параметров реактора, не используя при этом дорогостоящее программное обеспечение.

В будущем планируется совершенствование аналитических методов и расчетных методик с учетом перегрузки ядерного топлива.

Перечень принятых сокращений

АЭС – атомная электрическая станция

КВ – коэффициент воспроизводства

КВА – коэффициент воспроизводства в активной зоне

АЗ – активная зона

ТЗ – топливная загрузка

ЯР – ядерный реактор

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

ТВС – тепловыделяющая сборка

СУЗ – система управления защитой

КС – компенсирующий стержень

ПЯБ РУ – правила ядерной безопасности реакторной установки

САОР – система аварийной остановки реактора

РО – рабочий орган

ПСО – периферийная система останова

УПОС – устройство пассивной обратной связи

ЦСО – центральная система останова

ЦСОТ – центральная система отключения теплоносителя

ЦКР – центральный компенсатор реактивности

СТ – свинцовый теплоноситель

ПГ – парогенератор

ЯТЦ – ядерный топливный цикл

Оглавление

Введение.....	12
1 Реактор БРЕСТ-ОД-300	14
1.1 Общее описание установки БРЕСТ-ОД-300	14
1.2 Компоновка активной зоны и систем останова реактора.....	17
1.3 Контур свинцового теплоносителя	20
1.4 Пристанционный ядерный топливный цикл.....	20
1.5 Нитридное топливо для реакторов БРЕСТ.....	21
1.6 Перспективы использования нитридного топлива в быстрых реакторах с замкнутым топливным циклом.....	23
1.7 Выбор стартовой загрузки топлива.....	25
1.8 Развитие проекта БРЕСТ-ОД-300 – реактор БРЕСТ-1200.....	27
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	30
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	30
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	31
3.1.2 SWOT-анализ	33
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом	35
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	35
3.2.2 Контрольные события проекта.....	36
3.2.3 План проекта	37
3.3 Бюджет научного исследования.....	40
3.3.1 Расчёт материальных затрат	40
3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	41
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	42

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	44
3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	45
3.3.6 Накладные расходы	45
3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	45
3.4 Организационная структура проекта	46
3.5 Матрица ответственности	47
3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	49
Список публикаций.....	52

Введение

Современная ядерная энергетика работает в открытом топливном цикле, и одна из наиболее острых проблем, с которой она столкнулась в настоящее время, – растущий объем отработавшего ядерного топлива. Объем уже накопленного отработавшего топлива в мире оценивается 270-350 тыс. т, ежегодный темп накопления составляет около 10 тыс. т. Разрабатывается несколько стратегий обращения с ним: захоронение – открытый топливный цикл, переработка с рециклом компонентов топлива и захоронением высокоактивных отходов – замкнутый топливный цикл. К настоящему времени однозначного выбора не сделано, решение отложено. Долговременное хранение отработавшего топлива – это отложенное решение.

В США в Юкка-Маунтин для открытого топливного цикла планировалось строительство сухого хранилища объемом ~ 70 тыс. т. для безопасной изоляции отработавшего топлива в течение 10 тыс. лет [1]. Для уже накопленного в мире отработавшего топлива требуется 3–5 таких хранилищ, если принять хранилище типа Юкка-Маунтин за единицу измерения. С учетом масштабного роста мощностей АЭС ввод хранилищ будет увеличиваться в геометрической прогрессии. Их строительство и содержание требуют значительных финансовых затрат, что может сделать ядерную энергетику неконкурентоспособной.

Другая стратегия – переработка отработавшего топлива и иммобилизация извлекаемых при этом высокоактивных отходов: продуктов деления и актиноидов. Извлекаемые при переработке уран и плутоний можно использовать повторно как в тепловых, так и в быстрых реакторах. Во втором случае сжигание плутония более эффективно, так как одновременно нарабатывается новое топливо. Скорость накопления делящихся изотопов определяется отношением скорости образования к скорости выгорания делящихся изотопов. Таким образом, быстрые реакторы повышают рентабельность переработки отработавшего топлива и обеспечивают ядерную

энергетику новым топливом, что позволяет сократить потребление природного урана. Такая особенность быстрых реакторов стимулирует переход к замкнутому топливному циклу, используя для этого быстрые реакторы с $K_B > 1$.

Согласно плану развития ядерной энергетики России до 2050 года указывается, что необходимо «...создание технологической базы для крупномасштабной атомной энергетики на быстрых реакторах естественной безопасности без ограничений по топливным ресурсам...». Кроме этого, «...основное направление утилизации избыточного оружейного плутония, как и плутония из облучённого ядерного топлива, состоит в использовании смешанного уран-плутониевого топлива быстрых реакторов».

Поэтому в работе поставлена цель: с помощью аналитических методов провести анализ эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300. Для достижения заданной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ эксплуатационных параметров и конструктивных особенностей реактора БРЕСТ-ОД-300;
- проведение многогруппового расчета для определения спектра плотности потока нейтронов;
- моделирование процессов наработки и горения ядерного топлива в реакторе БРЕСТ-ОД-300;
- определение зависимостей эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300 от времени эксплуатации ЯЭУ.

1 Реактор БРЕСТ-ОД-300

1.1 Общее описание установки БРЕСТ-ОД-300

Реакторная установка БРЕСТ-ОД-300 выполнена в двухконтурном исполнении. Оборудование первого контура размещено в железобетонном корпусе, разделенном на несколько сообщающихся полостей. В центральной части размещена активная зона, в периферийных – основное и вспомогательное оборудование. Центральная полость содержит корзину с активной зоной и перекрыта двумя эксцентричными поворотными пробками, обеспечивающими перегрузку ТВС активной зоны. Периферийные полости вместе с центральной образуют петли циркуляции. В состав каждой петли входят циркуляционный насосный агрегат, средства поддержания качества теплоносителя. В состав петли входят также каналы системы аварийного расхолаживания, расположенные параллельно опускному участку, и каналы системы нормального расхолаживания. Трубы системы разогрева и системы охлаждения, а также диагностические каналы контроля технического состояния включены в состав корпуса.

Схема циркуляции главного циркуляционного контура имеет следующие особенности: теплоноситель после активной зоны раздается на парогенераторы и, пройдя их, попадает на всас главного циркуляционного насоса, который выдает его на напорный уровень, откуда он поступает в опускной участок центральной полости и далее в активную зону. Такая схема способствует сепарации паровых и газовых пузырей, препятствует их попаданию в активную зону, исключает всплески реактивности при разгерметизации трубок парогенератора. Преимуществом выбранной схемы также является запасенная в напорном уровне потенциальная энергия теплоносителя, участвующая в продлении циркуляции при нарушениях нормальной эксплуатации, которые связаны с потерей принудительной циркуляции [2].

Реакторный блок перегружается через верхнее перекрытие центральной полости. Разгрузочно-перегрузочная машина центрального зала через шибер поворотной пробки передает ТВС активной зоны в гнездо внутриреакторного хранилища, откуда их забирает внутриреакторная перегрузочная машина и расставляет по ячейкам. Вывод на координату внутриреакторной перегрузочной машины осуществляется системой из двух поворотных пробок.

Активная зона набирается из 145 ТВС и отгружается тремя рядами блоков выемного отражателя. В качестве топлива используется смешанный уран-плутониевый нитрид, плотность и состав которого обеспечивают необходимый запас реактивности и воспроизводство топлива ($K_{BA} \geq 1$). Топливо содержится в твэлах контейнерного типа с оболочками из стали ферритно-мартенситного класса, заполненных гелием. Профилирование энерговыделения и расхода теплоносителя осуществляется с помощью зонирования активной зоны по диаметру твэлов. Гнезда внутриреакторного хранилища находятся за отражателем и вмещают перегружаемые за одну микрокампанию изделия активной зоны.

Управление реактивностью осуществляется регулирующими органами СУЗ, входящими в состав некоторых ТВС активной зоны. В соответствии с требованиями ПЯБ РУ АЭС совокупность регулирующих органов СУЗ разбита на две независимые системы: остановка реактора, одной из которых является система аварийной защиты. Мощность контролируется ионизационными камерами, расположенными вокруг центральной полости реакторного блока. СУЗ выполнена двухкомплектной и трехканальной по каждому измерению. Рабочие органы СУЗ приводятся в действие электромеханическими приводами, размещенными на центральной поворотной пробке центральной полости. Рабочие органы СУЗ в выведенном состоянии находятся под активной зоной, при аварийном сигнале вводятся в зону под действием силы Архимеда. У части рабочих органов аварийной защиты предусмотрены пассивные инициаторы срабатывания. Дополнительной системой воздействия на реактивность является система пассивной обратной связи, рабочие органы которой

(вытесняемые столбцы свинца) расположены в первом ряду отражателя и управляются расходом теплоносителя первого контура. Система пассивной обратной связи помогает управлять реактором при переходных процессах и обеспечивает безопасность при исходных событиях с нарушением циркуляции и задержкой или несрабатыванием аварийной защиты.

Главный циркуляционный насосный агрегат представляет собой лопастную осевую машину с вертикальным расположением вала и асинхронным электродвигателем. Корпусом и насосу служит напорная камера, относящаяся к периферийной полости реакторного блока. Особенностью главного циркуляционного насосного агрегата является незначительное требование по выбегу, так как продление циркуляции обеспечивается уровневой схемой.

Парогенератор выбран прямоточный с витыми трубами, раздающая и приемные камеры расположены на уровне верхнего перекрытия. На одну петлю предусмотрено два парогенератора.

Внутриконтурные средства контроля и поддержания качества теплоносителя (массообменники, фильтры, датчики активности кислорода) размещены на различных участках контура и управляются отдельной подсистемой. Внутриреакторная часть системы контроля герметичности оболочек ведет постоянный отбор газовых проб под уровнем теплоносителя в центральной и периферийных полостях, над уровнем – в периферийных полостях. Предусмотрен отбор проб непосредственно теплоносителя.

В реакторной установке предусмотрена система вентиляции газового объема. Прием и обработка смеси газов после регенерации теплоносителя являются дополнительными функциями системы. Система разогрева корпуса предназначена для первоначального разогрева корпуса реакторного блока и поддержания температуры теплоносителя на случай длительного останова. Система охлаждения корпуса предназначена обеспечить рабочую и не превысить допустимую температуру на наружной поверхности строительного бетона шахты реакторного блока [3].

К системам безопасности относятся системы аварийного расхолаживания и локализации течи парогенератора. Каналы системы аварийного расхолаживания, размещенные в каждой периферийной полости корпуса и погруженные в теплоноситель, представляют собой трубы Фильда. Тепло к конечному поглотителю отводится с помощью естественной циркуляции. Для поддержания направления циркуляции и минимизации времени пуска каналы САОР в режиме нормальной эксплуатации реакторной установки работают на частичном уровне мощности.

Система локализации течи парогенератора предназначена для приема, конденсации и локализации рабочего тела второго контура (пароводяной смеси) в случае межконтурной течи. Для забора пароводяной смеси из реакторного блока в каждой периферийной полости имеется трубопровод, расположенный выше уровня свинца. Система рассчитана на прием пароводяной смеси в объеме не отсекаемых участков тракта циркуляции второго контура (по отсечной арматуре парогенератора).

В качестве топлива рассматривается хорошо совместимое со свинцом и материалом оболочки твэла высокоплотное ($14,3 \text{ г/см}^3$) и высокотеплопроводное ($20 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) монокристаллическое смешанное уран-плутониевое топливо (UN-PuN) равновесного состава (с температурами плавления $T_{\text{пл}} = 2800 \text{ }^\circ\text{C}$ и фазовых переходов $T_{\text{фаз}} = 1300 \text{ }^\circ\text{C}$), а в качестве материала оболочки – хромистая сталь ферритно-мартенситного класса. Теплоноситель – жидкий свинец, который не вступает в экзотермическое взаимодействие с водой, воздухом и конструкционными материалами, не горит, слабо активизируется и позволяет осуществить теплоотвод при низком давлении и большом запасе до кипения ($T_{\text{кип}} = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ при $P = 1 \text{ МПа}$) [4–5].

1.2 Компоновка активной зоны и систем остановки реактора

Активная зона набрана из 145 бескожуховых ТВС квадратного сечения с твэлами стержневой конструкции, установленными в дистанционирующих решетках с шагом 13 мм. Шаг ТВС 169 мм. Для радиального выравнивания

подогрева теплоносителя и максимальных температур твэлов использовано радиальное профилирование топливной загрузки: 45 центральных ТВС набраны из твэлов диаметром 9,4 мм, два следующих ряда (64 ТВС) – из твэлов диаметром 9,8 мм, и последний ряд (36 ТВС) – из твэлов 10,5 мм. Наличие ТВС с твэлами разного диаметра, но с одинаковым шагом и составом топлива позволяет обеспечить выравнивание подогрева свинца и температур оболочек твэлов во всех ТВС, стабилизацию этих параметров и запас до предельных температур, сохраняя при этом одинаковыми во всех ТВС отношения делящегося и воспроизводящего материалов. Это обеспечивает равенство коэффициентов воспроизводства КВ во всех ТВС и поэтому стабильность по кампании распределения их мощностей. В конструкции твэла зазор между топливом и оболочкой залит свинцом, что исключает их термомеханическое взаимодействие и обеспечивает высокую теплопроводность твэла, низкие рабочие температуры топлива ($T_{\text{ср}} = 620\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{тах}} < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$), небольшой выход газообразных осколков делений и их давление на оболочку при выгорании [6].

Квадратная «широкая» решетка твэлов и бесчехловые ТВС обеспечивают большое проходное сечение по теплоносителю, высокий уровень его естественной циркуляции и исключают перегрев ТВС из-за локального перекрытия проходного сечения на ее входе.

Со стороны боковой поверхности активная зона окружена блоками свинцового отражателя, из которых примыкающий к активной зоне ряд блоков является каналами рабочих органов (РО) системы управления и защиты (СУЗ). Эти РО СУЗ образуют периферийную систему остановки (ПСО) реактора и функционально разделены на 8 рабочих органов аварийной защиты (РО АЗ), 4 – автоматического регулирования (РО АР) и 16 – компенсации реактивности (РО КВ). Все 28 рабочих органов СУЗ выполнены с механическими приводами. Кроме них в этом ряду отражателя расположено 12 каналов так называемых устройств пассивной обратной связи (УПОС) реактивности от расхода теплоносителя. Эти каналы не входят в СУЗ, выполнены со столбами свинца, уровень которых поджат сверху газом и определяется напором теплоносителя

на входе в активную зону. Так что эти устройства пассивным образом изменяют реактивность в соответствии с изменением расхода теплоносителя.

Сборки отражателя выполнены с плотными чехлами, а сборки 2-4 рядов могут содержать Sr^{90} и Cs^{137} в качестве стабильного источника тепла для предотвращения гипотетического замерзания теплоносителя.

Свинцовый отражатель (вместо традиционных для быстрых реакторов урановых экранов), альбедные характеристики которого лучше, чем у диоксида урана, выравнивает распределение мощности, обеспечивает большой отрицательный эффект реактивности при снижении уровня свинца в реакторе, снижает плотностной коэффициент реактивности и исключает наработку оружейного плутония.

Помимо периферийной предусмотрена центральная система остановки реактора (ЦСО) (таким образом, в БРЕСТе имеются две независимых системы остановки реактора). Рабочие органы последней выполнены в виде стержней из WB_2 и расположены в центральных трубках 45-ти ТВС центральной зоны. Эти стержни с помощью гидропривода перемещаются по высоте активной зоны и занимают два крайних положения: над активной зоной (в выведенном положении) и в центре активной зоны (введенное положение). Вывод стержней осуществляется только активным образом при включении гидропривода, а ввод как активным, так и пассивным образом при недопустимом снижении расхода теплоносителя или полном отключении циркуляционных насосов. Часть рабочих органов, так называемые РО ЦСОТ в количестве 12 штук, конструктивно выполнены так, что пассивно вводятся в активную зону также и при превышении предельной температуры теплоносителя на выходе активной зоны. Другая часть рабочих органов, так называемые центральный компенсаторы реактивности (РО ЦКР), может быть заблокирована от вывода из активной зоны. РО ЦКР предназначены для компенсации различных погрешностей (технологических, константных, методических и др.) в определении запаса реактивности при загрузке реактора, и их количество

зависит как от величины этих погрешностей, так и альтернативных способов компенсации реактивности при компоновке критической загрузки.

1.3 Контур свинцового теплоносителя

Отвод тепла от активной зоны реактора осуществляется за счет принудительной циркуляции насосами свинцового теплоносителя (СТ), который поднимается на высоту ~ 2 м относительно уровня свинца в камере всасывания и подается на свободный уровень кольцевой напорной камеры. Далее свинец опускается к опорной решетке активной зоны, проходит через ТВС снизу вверх, нагреваясь до температуры $540\text{ }^{\circ}\text{C}$, и подается в общую сливную камеру «горячего» теплоносителя, а затем поднимается вверх и через патрубки раздаточного коллектора перетекает во входные полости парогенератора и межтрубное пространство. Свинцовый теплоноситель, опускаясь по межтрубному пространству, отдает свое тепло теплоносителю второго контура (водяному пару), проходящему внутри трубок ПГ. Охлажденный примерно до $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ свинец поднимается вверх по кольцевому зазору и выливается в камеру всасывания насосов, откуда снова подается насосами в напорную камеру.

Конструкция свинцового контура с большой теплоаккумулирующей способностью и инерцией расхода, а также наличие байпасного тракта обеспечивают естественную циркуляцию свинца при отключении насосов.

1.4 Пристанционный ядерный топливный цикл

Технический проект пристанционного ЯТЦ БРЕСТ-ОД-300 разрабатывался на принципах естественной безопасности: детерминистическое исключение тяжелых радиационных, ядерных аварий при переработке и изготовлении ядерного топлива путем создания ядерно-безопасных аппаратов. Критическая масса сферы с бетонным отражателем из топлива равновесного состава составляет – 1100 кг , в переработке находится до трех облученных ТВС с общей массой ядерного материала около 373 кг .

Годовая производственная программа цикла предусматривает регенерацию и изготовление 29 ТВС БРЕСТ-ОД-300. При этом разделяются, регенерируются и изготавливаются три типоразмера твэлов и ТВС для реактора БРЕСТ.

В технический проект оборудования пристанционного ядерного топливного цикла входят аппарат для растворения ТВС, установки регенерации топлива (электролизер), получения моонитридов, кассетного пресса, печи удаления связующего материала и спекания непрерывного действия, оборудование камеры сборки, герметизации и контроля твэлов, оборудование участка изготовления ТВС, проекты систем управления [7].

Пристанционный ЯТЦ БРЕСТ-ОД-300 разбит на две очереди: первая включает участки для изготовления порошка из исходных ядерных материалов, таблеток, твэлов, ТВС и предназначена для изготовления первых топливных загрузок БРЕСТ-ОД-300 (145 ТВС, 17,6 т) в течение года. Вторая включает участки разделки и регенерации облученного топлива.

1.5 Нитридное топливо для реакторов БРЕСТ

Смешанное нитридное топливо, в основном, производится по традиционной таблеточной технологии из исходных нитридных порошков. Для изготовления исходных порошков в лабораторном и экспериментальном масштабе освоены два основных метода – карботермический синтез из оксидов и метод гидрирования-нитрирования из металлов. Оба метода имеют недостатки и преимущества, поэтому целесообразность применения того или иного метода определяется, в основном, концепцией и этапом освоения замкнутого топливного цикла.

Экспериментальные твэлы БОР-60 изготавливали по обеим технологиям. До последнего времени все твэлы, испытываемые в исследовательских реакторах, производили именно по технологии гидрирования-нитрирования (прямого синтеза). Порошки смешивали в

шаровых и вибрационных мельницах, обеспечивающих их активацию для повышения эффективности спекания уран-плутониевых нитридов.

В 2002-2004 гг. во ВНИИНМ была разработана лабораторная технология производства нитридных порошков, полученных методом гидрирования-нитрирования металлов смешанного нитридного уран-плутониевого топлива в аппарате вихревого слоя АВС-150. По этой технологии изготовлено 4 кг топлива для снаряжения 15 экспериментальных твэлов со свинцовым подслоем для сборно-разборных ТВС БОР-60. В активной зоне были облучены две ТВС, по семь твэлов в каждой, до максимального выгорания 4,3 и 5,5 % тяж. ат. соответственно.

В 2008-2011 гг. разработана лабораторная технология карботермического синтеза смешанного уран-плутониевого мононитрида из исходных оксидов, позволяющем производить высокоомогенные порошковые смеси за короткий период времени. Гомогенность особенно важна для эффективного прохождения твердофазных реакций с углеродом, в которых необходим плотный контакт компонентов.

Положительные результаты радиационных испытаний высокочистого смешанного моно-нитридного топлива в БОР-60 до выгорания 12,1 % тяж.ат. при максимальной линейной мощности до 545 Вт/см следует объяснить высокой исходной гомогенностью распределения плутония, низким содержанием кислорода и углерода – менее 0,15 и 0,1 % по массе соответственно, равномерно распределенной пористостью, сочетанием пор по границам и внутри зерен. Полученные результаты подтверждают принципиальную возможность достижения выгорания 12 % тяж. ат. с нитридным топливом быстрого реактора с натриевым теплоносителем в твэлах с гелиевым подслоем при условии увеличения исходной пористости топлива. Пористость таблетки (U-Pu)N составила 15 % [9]. Однако опыт облучения смешанного нитридного топлива все же недостаточен для прогнозирования работоспособности твэлов при рабочих параметрах реакторов БРЕСТ. Необходимы дополнительные данные о свойствах необлученного (U-Pu)N,

испытания в БОР-60 и других исследовательских реакторах, а также реакторное обоснование твэлов с (U-Pu)N в составе экспериментальных ТВС БН-600.

В целях обоснования работоспособности твэлов в условиях проектного выгорания, обеспечения стабильных характеристик и требуемого качества опытной технологии изготовления смешанного нитридного топлива, твэлов и ТВС для испытаний в БОР-60 и БН-600, оптимизации конструкции и технологии твэлов со смешанным нитридным топливом для БРЕСТ-ОД-300 в 2013 г. разработана комплексная программа расчетно-экспериментального обоснования твэлов со смешанным уран-плутониевым топливом на период до 2020 г. Результаты выполнения этой программы будут являться основой для верификации и аттестации расчетных топливных кодов и обоснования работоспособности твэлов при лицензировании топлива для реакторов БРЕСТ и БН-1200.

1.6 Перспективы использования нитридного топлива в быстрых реакторах с замкнутым топливным циклом

В настоящее время в общей физической концепции быстрых реакторов произошли заметные изменения. Тезис о необходимости обеспечения высоких коэффициентов воспроизводства перестал быть довлеющим, но усилился тезис о необходимости исключения большого запаса реактивности на выгорание, обеспечивающего тем самым естественную безопасность реактора. Требование естественной безопасности формулируется, как требование иметь минимальный запас реактивности в активной зоне в течение всей топливной кампании, что исключает возможность ядерной аварии с разгоном на мгновенных нейтронах. Это требование наилучшим образом реализуется в быстрых реакторах с жидкометаллическим теплоносителем, в которых одновременно решается задача гарантированного отвода остаточного тепловыделения в авариях с нарушением целостности первого контура.

В качестве одного из путей улучшения экономики и повышения безопасности АЭС с быстрыми реакторами, рассматривается переход от смешанного оксидного уран-плутониевого к высокоплотному топливу с повышенной ядерной концентрацией делящихся изотопов.

Во многих странах ведутся интенсивные исследования плотных видов топлива для быстрых реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Качественные характеристики, приведенные в таблице 1.6.1, показывают перспективность использования металлического, нитридного и карбидного топлива [8]. В настоящее время продолжаются исследования этих видов топлива с Np, Am и без них в разных странах: металлического – в США, Южной Кореи, Индии, нитридного – в нашей стране, странах Европейского Союза, США (в ограниченном масштабе), карбидного – во Франции и Индии. Международный проект «Усовершенствованное топливо» в рамках проекта Поколение IV с участием США, стран Европейского Союза, Японии, Южной Кореи предусматривает окончательный выбор вида плотного топлива в 2015 г. и демонстрацию его работоспособности, начиная с 2016 г. В качестве перспективного плотного для быстрого реактора с натриевым теплоносителем во Франции рассматривается карбидное топливо. Применение металлического уран-плутоний-циркониевого топлива предусматривается в проектах быстрых реакторов с натриевым теплоносителем в США, Южной Кореи, Китае, Индии.

Таблица 1.6.1 – Качественные характеристики плотных композиций и смешанного оксидного уран-плутониевого топлива

Характеристика	Смешанное оксидное уран-плутониевое (U–Pu)O ₂	Металлический сплав U–Pu–Zr	Нитрид (U–Pu)N	Карбид (U–Pu)C
Рекомендуемая эффективная плотность в ТВэле, г/см ³	~ 9,3	~ 12	11,5	Нет данных
Удовлетворительная совместимость с оболочкой ТВэла, °С	< 700	< 620	< 700	< 700
Максимальная допустимая температура топлива при эксплуатации, °С	< 2000	< 800	< 1800*	Нет данных
Совместимость с теплоносителем: натриевым	Неудовлетворительная	Хорошая		
Свинцовым	Удовлетворительная	Неудовлетворительная	Хорошая	Нет данных
Технологичность на стадии изготовления	Хорошая		Удовлетворительная (требуется инертная среда)	
Прогнозируемое максимальное проектное выгорание топлива в ТВэлах, % тяж.ат.	~ 20	~ 20	> 12	> 12
Факторы, определяющие работоспособность ТВэлов	Радиационная стойкость оболочек при высокой повреждающей дозе	Коррозионная совместимость оболочки с топливом	Деформационная способность оболочек в условиях нагружения распухающим топливным сердечником	
*Недостаточно данных, требуются дополнительные исследования.				

1.7 Выбор стартовой загрузки топлива

При реализации требований к крупномасштабной ядерной энергетике принципиальным становится вопрос о замкнутом ядерном топливном цикле и регенерации топлива. Ввод быстрых реакторов в эксплуатацию на облученном топливе из тепловых реакторов, снизит количество облученного топлива находящегося в хранилищах в 6 раз. Тогда размножение плутония в быстрых реакторах теряет смысл, так как огромные количества плутония уже накоплены

за время эксплуатации атомных станций. Также, другой немало важный вопрос, утилизация накопленного низкофонового плутония.

Данный этап работы рассматривается как очень малый, но, тем не менее, важная часть большой поисковой работы, конечной целью которой является выработка концепции большой ядерной энергетики с замкнутым топливным циклом.

Проанализировав источники информации, для пуска серийного реактора выбраны 2 компоновки активной зоны (таблица 1.7.1), а также стартовые топливные загрузки к ним.

Таблица 1.7.1 – Проекты реактора БРЕСТ-ОД-300

Параметр	Первая активная зона [10]	Вторая активная зона [11]
Высота АЗ, мм	1100	1250
Диаметр АЗ, мм	2100	2300
Плотность топлива, г/см ³	11,5	13
Размер ТВС «под ключ», мм	148,4	
Теплоноситель	Свинец; $\gamma=10,47$ г/см ³ (при T=20 °C)	
Оболочка	Сталь ЭП-823; $\gamma=7,87$ г/см ³ (при T=20 °C)	

Для первой активной зоны выбраны следующие топливные загрузки:

1. (U-Pu)N, 83 % отвалный уран, остальное – (17 %) Pu²³⁹.
2. (U-Pu)N, 83 % урана природного обогащения, остальное – (17 %) Pu²³⁹ 93 %, Pu²⁴⁰ 7 % [12].
3. (U-Pu)N, 83 % урана природного обогащения, остальное – (17 %) плутоний из легководных тепловых реакторов с изотопным содержанием Pu²³⁹ 57 %, Pu²⁴⁰ 26 %, Pu²⁴¹ 12 %, Pu²⁴² 5 % [11].
4. (U-Pu)N, 83 % урана обогащенного по U²³⁵ на 5 %, остальное – (17 %) плутоний из легководных тепловых реакторов с изотопным содержанием Pu²³⁹ 57 %, Pu²⁴⁰ 26 %, Pu²⁴¹ 12 %, Pu²⁴² 5 % [11].

Для второй активной зоны выбраны следующие топливные загрузки:

1. UO₂, с обогащением по U²³⁵ на 16,6 % [11].

2. UN, с обогащением по U^{235} на 16 % [11].
3. (U-Pu)N, 83 % отвалный уран, остальное – (17%) Pu^{239} 93 %, Pu^{240} 7 % [12].
4. (U-Pu)N, 83% урана обогащенного по U^{235} на 1 %, остальное – (17 %) плутоний из легководных тепловых реакторов с изотопным содержанием Pu^{239} 57 %, Pu^{240} 26 %, Pu^{241} 12%, Pu^{242} 5 % [11].

1.8 Развитие проекта БРЕСТ-ОД-300 – реактор БРЕСТ-1200

Для обоснования проекта ядерного энергетического комплекса с реактором БРЕСТ-1200 необходимо создание опытно-демонстрационного комплекса, основными задачами которого являются комплексные физические, теплогидравлические и технологические исследования в условиях реактора, ресурсные испытания, демонстрация устойчивости реактора к тяжелым аварийным исходным событиям, в том числе без срабатывания СУЗ, освоение пристанционного ЯТЦ и обращения с радиоактивными отходами.

Реакторная установка БРЕСТ-1200 представляет собой двухконтурный парогенерирующий энергоблок, в состав которого входят реактор с парогенераторами, насосами, оборудованием системы перегрузки ТВС, СУЗ, бетонная шахта с тепловой защитой, паротурбинная установка, системы теплоотвода при расхолаживании, разогрева реактора, защиты реакторной установки от превышения давления, очистки теплоносителя первого контура, очистки газа и другие вспомогательные системы.

В качестве топлива рассматривается хорошо совместимое с свинцом и материалом оболочки твэла высокоплотное ($14,3 \text{ г/см}^3$) и высокотеплопроводное (20 Вт/(мК)) мононитридное смешанное топливо (UN-PuN-Np, Am, Cm и др.), материал оболочки – хромистая ферритно-мартенситная сталь.

Для снижения температуры топлива, а также выхода продуктов деления из топлива под оболочку зазор между топливом и оболочкой заполнен свинцом, обеспечивающим хороший тепловой контакт топлива с теплоносителем. В целях увеличения проходного сечения по теплоносителю,

повышения мощности, отводимой естественной циркуляцией свинца, исключения потери охлаждения в ТВС при перекрытии расхода все ТВС выполняются бескожуховыми.

Вместо обычного выравнивания радиального распределения энерговыделения обогащением топлива применено трехзонное выравнивание подогрева свинца и температуры оболочек твэлов путем профилирования энерговыделения и расхода свинца в ТВС за счет использования твэлов разного диаметра, но с одинаковым содержанием плутония. Это обеспечивает хорошее выравнивание и стабильность температуры свинца на выходе из активной зоны и температуры оболочек твэлов.

Использование химически инертного высококипящего расплавленной свинца позволяет отказаться от трехконтурной схемы отвода тепла и перейти на двухконтурную схему с паровым перегревом пара и догревом питательной воды до 613 К острым паром.

Тепло от активной зоны реактора отводится принудительной циркуляцией свинца насосами. Циркуляция через активную зону и парогенераторы осуществляется не напором насосов, а создаваемой ими разницей уровней «холодного» и «горячего» теплоносителя. При этом исключается неравномерность расхода свинца через парогенераторы при остановке одного или нескольких насосов и обеспечивается инерция расхода при быстрой остановке насосов за счет выравнивания уровней теплоносителя в напорной и всасывающей камерах.

Для снижения последствий аварии с разрывом труб парогенераторов применена интегрально-петлевая компоновка первого контура, при которой парогенераторы и главный циркуляционный насос вынесены за пределы основного корпуса реактора. Такая компоновка вместе с выбранной схемой циркуляции свинца и сбросом пара из корпуса реактора в барботеры исключает попадание в активную зону опасного количества пара и опрессовку корпуса реактора.

Внутрикорпусное хранилище отработавшего топлива, удаленное от активной зоны и защищенное от нейтронов, позволяет ускорить и упростить выгрузку облученного топлива из реактора путем его предварительной выдержки ($\sim 0,5$ года) до тепловыделения, допускающего проведение перегрузочных и транспортных операций без принудительного охлаждения.

Невысокое давление в свинцовом контуре и относительно высокая температура замерзания свинца способствуют самозалечиванию трещин, а вместе с заглублением реактора, при котором свинец находится на уровне земли, исключает аварии с потерей охлаждения, расплавлением ТВЭЛов, истечением радиоактивного свинца в помещения реакторной установки.

Большие размеры и масса реактора создают трудности с изготовлением, транспортировкой, монтажом и сейсмической устойчивостью конструкции. В БРЕСТ-1200 принято бассейновое расположение реактора, насосов и парогенераторов непосредственно в бетонной шахте с тепловой защитой без металлического корпуса. Температура бетона в допустимых пределах поддерживается естественной циркуляцией воздуха по трубам Ду120. Железобетонный массив изнутри имеет стальную облицовку толщиной 8-10 мм [13].

Топливо в реакторе БРЕСТ-1200 перегружается напольной машиной. Внутриреакторная перегрузка включает в себя операции по загрузке свежих ТВС, блоков отражателя и органов СУЗ из внутриреакторного хранилища в активную зону, выгрузку облученных ТВС и других элементов из активной зоны во внутриреакторное хранилище. Внутриреакторная перегрузка проводится с помощью поворотных пробок и внутри реакторной машины, установленной на малой поворотной пробке.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособной разработки, отвечающей предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение поставленной цели может быть обеспечено решением следующих задач:

- формирование общей экономической идеи проекта, разработка его концепции;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, оценка конкурентоспособности выбранного метода;
- календарное планирование организации научно-исследовательской работы;
- оценки коммерческого потенциала идеи, а также её перспективности, с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности;
- расчет и анализ ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной магистерской диссертационной работе произведен аналитический расчет нейтронно-физических параметров реакторной установки БРЕСТ-ОД-300.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для осуществления анализа потребителей результатов исследования, проводимого в магистерской работе, необходимо определить целевой рынок и рассмотреть его отдельные сегменты.

Конечным результатом исследования является совокупность нейтронно-физических параметров реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 и анализ полученных данных.

Сегментация рынка проводится на основе востребованности проводимого исследования в производстве. К потенциальным потребителям научной разработки относятся следующие предприятия:

«Сибирский химический комбинат»;

– Гидропресс;

– ОКБМ имени И. И. Африкантова;

– Специализированные ВУЗы.

Результаты сегментирования представлены в рисунке 3.1.

		Анализ эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300			
		СХК	ОКБ	ВУЗы	МАГАТЭ
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка исследования нейтронно-физических параметров реакторной установки БРЕСТ-ОД-300.

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В данной работе произведен аналитический расчет нейтронно-физических параметров реакторной установки БРЕСТ-ОД-300. Таким образом, для анализа конкурентных технических решений необходимо рассмотреть методы альтернативные расчета, к которым относятся способы расчета с помощью специальных расчетных программ:

– определение нейтронно-физических характеристик реактора с помощью WIMS;

– определение нейтронно-физических характеристик реактора с помощью TIME26.

Позиция разработки и конкурентов оценивается при помощи оценочной шкалы, по которой 1 балл присваивается методу с наименее сильной позицией, а 5 – с наиболее сильной. Общая сумма весов показателей, определяемых экспертным путем, в сумме должна быть равна 1. Оценочная карта анализа представлена в таблице 3.1.1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.1.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_{ϕ}	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,2
3. Надежность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
4. Безопасность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Потребность в материальных ресурсах	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
6. Функциональная мощность	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
7. Помехоустойчивость	0,01	2	4	4	0,02	0,04	0,04
8. Простота эксплуатации	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
2. Стоимость разработки	0,1	5	1	1	0,5	0,1	0,1
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Финансирование разработанного метода	0,05	5	2	2	0,25	0,1	0,1
Итого	1				4,47	3,27	3,36

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что аналитический метод определения нейтронно-физических параметров, который был применен в данной магистерской диссертации, является наиболее оптимальным для использования в практических целях. Конкурентные методы определения параметров с помощью специализированных пакетов программ представляются экономически невыгодными и могут не учитывать всех факторов, таких как: поправки, влияние температуры, блок-эффект. Также использование пакета программ требует от пользователя знание технического английского языка.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Данный способ оценки применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

При проведении SWOT-анализа учитывают следующие факторы:

- сильные стороны – факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта, могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей;
- слабые стороны – недостатки научно-исследовательского проекта, препятствуют достижению его целей;
- возможности представляют собой ситуацию в настоящем или будущем, возникающую во внешней среде проекта, которая положительно влияет на позицию разработки на конкурентном рынке;
- угроза включают в себя любые изменения в условиях окружающей среды, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для конкурентоспособности проекта в настоящем или будущем [19].

В таблице 3.1.2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3.1.2 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	+	+	–	+	+
B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

Интерактивная матрица проекта отражает соответствия сильных сторон и возможностей проекта, при этом «плюс» – сильное соответствие, а «минус» – слабое.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 3.1.3.

Таблица 3.1.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Научная новизна.</p> <p>C2. Современная технология.</p> <p>C3. Возможность контроля процесса расчета.</p> <p>C4. Наличие актуальных данных по реакторной установке БРЕСТ-ОД-300.</p> <p>C5. Полный анализ нейтронно-физических параметров.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Наличие человеческого фактора.</p> <p>Сл2. Возможность появления погрешности расчета.</p> <p>Сл3. Продолжительное время расчетов.</p> <p>Сл4. Высокий уровень знаний для выполнения расчетов.</p> <p>Сл5. Ограниченное число рассчитываемых параметров.</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1. Использование расчетов для ОКБ.</p> <p>B2. Возможность рассмотрения различных топливных загрузок.</p> <p>B3. Актуальность темы для публикации в научных журналах.</p> <p>B4. Развитие тематики быстрых реакторов.</p> <p>B5. Дополнительный спрос на результаты расчетов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Научная новизна, и, как следствие, публикации в цитируемых научных журналах.</p> <p>2. Анализ различных топливных загрузок реактора БРЕСТ-ОД-300 с учетом актуальных характеристик и параметров.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Возникновение ошибок из-за длительных расчетов; Данный фактор при внимательной работе можно устранить.</p> <p>2. Требование наличия обширных знаний в тематике быстрых реакторов; Данный не является большим недостатком, так как получение дополнительных знаний не принесет вреда и расширит кругозор.</p>

Продолжение таблицы 3.1.3

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Недостаточная точность аналитических методов.</p> <p>У2. Низкий спрос на результаты при отсутствии публикаций.</p> <p>У3. Отсутствие источников для проверки полученных результатов.</p> <p>У4. Падение интереса к быстрым реакторам со стороны государства.</p> <p>У5. Появление совершенных технологий в атомной отрасли.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Несмотря на научную новизну со стороны государства, проектирование быстрых реакторов может быть приостановлено; Тяжелая финансовая ситуация в стране может повлиять на отказ страны строить быстрые реактора. Но в 2016 году финансовое состояние в стране стабильное и в планах правительства нет отказа от быстрых реакторов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Влияние человеческого фактора может негативно сказаться на достоверность результатов, что приведет к падению шанса на публикацию. Однако при комплексной работе можно минимизировать появление ошибки.</p>
---	---	---

Таким образом, на основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод, что в настоящий момент преимущества выбранного метода значительно преобладают над его недостатками. Все несовершенства метода, относящиеся к слабым сторонам проекта, могут быть устранены при помощи перечисленных выше возможностей.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

В процессе анализа экономической эффективности проекта разрабатывается иерархическая структура работ (ИСР), представляющая собой детализированную структуру работ. При помощи ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 3.2.1 – Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2016	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2016	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2016	
4	Подбор и изучение материалов по теме	10.02.2016	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2016	План работ
6	Рассмотрение характеристик реактора БРЕСТ-ОД-300	13.02.2016	Отчёт
7	Подготовка данных в Excel	14.02.2016	Отчёт
8	Моделирование процессов в Excel	15.02.2016-30.03.2016	Отчёт
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	28.03.2016	Отчёт

Продолжение таблицы 3.2.2 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2016	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	14.02.2016- 25.04.2016	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2016	
13	Подготовка к защите	27.04.2016- 25.05.2016	

3.2.3 План проекта

В рамках анализа научно-исследовательской разработки построен календарный план проекта, на основе которого сформирован календарный план-график работ при помощи диаграммы Ганта. Диаграмма представляет собой таблицу, на которой отражена протяженность каждой из работ по проводимому проекту.

Линейный график представлен в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2016	3.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2016	5.02.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	5.02.2016	10.02.2016	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2016	12.02.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2016	13.02.2016	Руководитель, студент

Продолжение таблицы 3.2.3

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
6	Рассмотрение характеристик реактора БРЕСТ-ОД-300	1	13.02.2016	14.02.2016	Студент
7	Подготовка данных в Excel	1	14.02.2016	14.02.2016	Студент
8	Моделирование процессов в Excel	45	15.02.2016	30.03.2016	Студент
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	2	28.03.2016	30.03.2016	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2016	30.03.2016	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2016	25.04.2016	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2016	27.04.2016	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	29	27.04.2016	25.05.2016	Студент

В таблице 3.2.4 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 3.2.4 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	2														
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	5														
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	2														
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1														
6	Рассмотрение характеристик реактора БРЕСТ-ОД-300	Студент	1														
7	Подготовка данных в Excel	Студент	1														
8	Моделирование процессов в Excel	Студент	45														
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Студент	2														
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	1														
11	Составление пояснительной записки	Студент	72														
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент	1														
13	Подготовка к защите	Студент	29														



Руководитель



Студент

3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (3.3.1)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов [20].

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров, оплаты доступа в интернет. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 2.3.1.

Таблица 3.3.1 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	Ballet	500	0,30	150
Печать на листе А4	–	250	3	750
Ручка	BIC	1	10	10
Доступ в интернет	–	3 месяца	450	1350
Всего за материалы				2260
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье C_m				2260

3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится ноутбук, стоимость которого составляет 40000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (3.3.2)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (40000 / 1825) = 21,91 \text{ руб/дн.}$$

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 2,05 \cdot 0,5 \cdot 960 = 984,$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,05 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 984 рубля.

Оборудование использовалось в течение 117 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 21,91 \cdot 117 + 984 = 3547,5 \text{ руб.}$$

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (3.3.3.1)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (3.3.3.2)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (3.3.3.3)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.3.3).

Таблица 3.3.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 5070 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$З_{\text{дн}} = (5070 \cdot 11,2) / 223 = 254,6 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$З_{\text{осн студ}} = 254,6 \cdot 117 = 29788,2 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

– оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

– иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью старшего преподавателя. Оклад старшего преподавателя составляет 18418 рубля.

Надбавки к заработной плате за научную степень составляют 12800 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = (18418 + 12800) \cdot 1,3 + 10000 = 40583,4 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (40583,4 \cdot 10,4) / 251 = 1681,54 \text{ руб / день.}$$

Руководитель участвовал в работе 4 дня, а это:

$$Z_{\text{осн рук}} = 1681,54 \cdot 4 = 6726 \text{ руб.}$$

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (3.3.4)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 3.3.4.

Таблица 3.3.4 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	6726	29788,2
Дополнительная зарплата	1009	2978,8
Зарплата исполнителя	7735	32767
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	40502	

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы [21].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (3.3.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 7735 = 2096 \text{ руб.}$$

3.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (3.3.6)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 30 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 7735 = 2320,5 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.3.7.

Таблица 3.3.7 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	2567,5
2. Затраты на специальное оборудование	2563,5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	40502
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6005,5
5. Отчисления во внебюджетные фонды	2096
6. Накладные расходы	2320,5
Бюджет затрат исследования	58622

3.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель). Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 2.4.



Рисунок 3.4 – Организационная структура научного проекта

3.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 3.5.

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 3.5 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Рассмотрение характеристик реактора БРЕСТ-ОД-300					И
Подготовка данных в Excel					И
Моделирование процессов в Excel	О				И
Выполнение расчётов и анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 2.6). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (3.6.1)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{58622}{58622} = 1;$$

Для аналогов (с использованием ПО, которое стоит 10000 руб и 15000 руб) соответственно:

$$I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{68622}{58622} = 1,17; \quad I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{70122}{58622} = 1,19;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.6.2)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 3.6 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,4	5	3	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	2	2
3. Помехоустойчивость	0,1	5	4	4
4. Надёжность	0,25	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	5	3,1	2,9

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,45;$$

$$\text{Аналог 2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,2.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финаi}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}; I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}}; \quad (3.6.3)$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{5}{1} = 5; I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,45}{1,13} = 3,05; I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{3,2}{1,2} = 2,66.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}} \quad (3.6.4)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 3.6.1.

Таблица 3.6.1 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,17	1,19	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,45	3,2	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,05	2,66	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,64	1,88	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве аналитического метода расчета над аналогами.

Список публикаций

1. Гизбрехт Р.В. Определение эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД-300 // VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», 1-3 июня 2016 г. Сборник тезисов. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С. 1